

王恒煦,刘泽平,徐伟慧,等. 几种菌株对水稻的促生能力测定[J]. 江苏农业科学,2019,47(11):94-99.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.020

# 几种菌株对水稻的促生能力测定

王恒煦,刘泽平,徐伟慧,王志刚

(齐齐哈尔大学生命科学与农林学院/黑龙江省抗性基因工程与寒地生物多样性保护重点实验室,黑龙江齐齐哈尔 161006)

**摘要:**水稻在我国粮食生产中占有重要的地位,植物根际促生菌(PGPR)是促进植物生长和提高土壤肥力的关键因素。采用盆栽育苗试验、MS 半固体培养基育苗试验以及田间试验,验证东北寒地水稻根际促生菌对水稻生长的促生效果。应用 9 株水稻根际促生菌,研究其对水稻生长的影响,9 株根际促生菌可以在土壤中促进水稻植株的生长,其中 *Bacillus aryabhattai* (LZP01)、*Bacillus pumilus* (LZP02)、*Bacillus megaterium* (LZP03) 促生效果最好,在水稻株高、茎粗、地上质量和根表面积等指标上均有显著促生效果。MS 半固体培养基育苗试验结果可以发现,3 株优势根际促生菌对水稻生长指标和根系指标具有促生作用。于黑龙江省二九零农场进行 LZP01、LZP02、LZP03 复合菌株的田间试验,加入复合菌株的土壤生长出来的水稻与对照相比盘根能力较好,更加适合田间环境生长。结果将对水稻微生物肥料开发利用产生推动作用,在农业生产实践中产生经济效益、社会效益和生态效益。

**关键词:**根际促生菌;根系;水稻;微生物菌肥

**中图分类号:**S511.06      **文献标志码:**A      **文章编号:**1002-1302(2019)11-0094-06

水稻是我国产量最高和种植面积最广的作物,在我国粮食生产中占有重要的地位<sup>[1]</sup>,优化水稻生长环境,寻求新的化肥农药替代品来减少化学农药使用量已受到人们的广泛关注<sup>[2]</sup>。植物根际促生菌(PGPR)是由 Kloepper 等定义的<sup>[3]</sup>,描述一类接种到植物上来促进植物生长的土壤细菌<sup>[4]</sup>。微生物肥料是通过微生物的生命活动使作物得到所需养分的一种新型生物制品,具有环保、对人体无害等优点<sup>[5]</sup>。由于 PGPR 可以单独作为一个单元在生物圈中发挥作用,菌株间的相互作用关系非常复杂<sup>[6]</sup>,且可促进植物生长和提高土壤肥力<sup>[7-8]</sup>,已有多种 PGPR 被商品化应用,其对作物生长的促进活性已在多种方面得到证明<sup>[9-10]</sup>。因此水稻等作物的根际促生菌被认为是适应可持续发展农业的微生物肥料资源。目前,已有研究表明,PGPR 微生物肥料可通过增加营养供应来促进水稻等植物的生长,促进根部生长以及增加产量<sup>[11]</sup>;水稻根际促生菌可以促进水稻根的生长,使水稻单株分蘖数提高,同时增加产量<sup>[12]</sup>。但目前对东北寒地水稻促生菌的深入研究较少<sup>[13]</sup>,因此本试验选取此前由笔者所在实验室筛选出的几株水稻根际促生菌来研究其对水稻生长的影响,并开展田间试验,验证东北寒地水稻根际促生菌的促生效果,使理论与实际结合,以期今后东北水稻根际促生菌研究和微生物肥料的生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

收稿日期:2018-11-09

基金项目:黑龙江省高校青年创新人才培养计划(编号:UNPYSCT-2015092)。

作者简介:王恒煦(1995—),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事环境微生物研究。E-mail:1124081728@qq.com。

通信作者,王志刚,博士,教授,主要从事环境微生物研究。E-mail:wzg1980830@sina.com。

试验用土取自齐齐哈尔嫩江大坝,土壤类型为沙土,晾干过筛备用。土壤基本理化性质为有机质含量 20.35 g/kg,有效磷含量 26.52 mg/kg,速效钾含量 79.00 mg/kg, pH 值 6.49,电导率(EC 值)0.76 mS/cm。试验所用水稻品种为龙粳 46,由黑龙江省农业科学院水稻研究所提供。供试菌株为由齐齐哈尔大学生命科学与农林学院微生物实验室分离保存的水稻根际促生菌<sup>[14]</sup>,菌株名称及编号见表 1。

表 1 菌株名称及编号

菌株	拉丁文名称	编号
解磷菌株	<i>Bacillus pumilus</i>	LZP02
	<i>Bacillus ginsengisoli</i>	LZP05
	<i>Bacillus aryabhattai</i>	LZP08
溶磷菌株	<i>Bacillus megaterium</i>	LZP03
	<i>Bacillus oryzaecorticis</i>	LZP04
	<i>Bacillus ginsengisoli</i>	LZP07
解钾菌株	<i>Bacillus subtilis</i>	LZP06
	<i>Bacillus aryabhattai</i>	LZP01
	<i>Bacillus licheniformis</i>	LZP09

### 1.2 培养基配方

LB 培养基(1 000.0 mL):酵母 5.0 g, NaCl 8.0 g, 琼脂 20.0 g, 蛋白胨 10.0 g, pH 值 7.0(液体培养基不加琼脂)。

MS 培养基半固体(1 000.0 mL):大量元素 100.0 mL, 铁盐 10.0 mL, 有机物 10.0 mL, 微量元素 10.0 mL, 蔗糖 30.0 g, 琼脂 9.5 g, pH 值 5.4。

大量元素(1 000.0 mL):KNO<sub>3</sub> 19.0 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.7 g, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 16.5 g, CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 4.4 g, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 3.7 g。

微量元素(1 000.0 mL):KI 0.083 0 g, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.620 0 g, MnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1.600 0 g, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.860 0 g, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.002 5 g, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 0.025 0 g, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.002 5 g。

铁盐(1 000.0 mL):FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 2.785 g, 乙二胺四乙酸二钠 3.725 g。

有机物(500.0 mL):甘氨酸 0.050 0 g,盐酸硫胺素 0.010 0 g,盐酸吡哆醇 0.012 5 g,烟酸 0.012 5 g,肌醇 2.500 0 g。

### 1.3 盆栽促生试验

1.3.1 菌株培养及种子处理 采用盐水漂浮法挑选水稻种子,挑选后用清水淘洗 3 次,清除水稻外壳盐分,将水稻种子放入烧杯中于 30 ℃ 条件下用无菌水浸种催芽。将筛选得到的 9 种根际促生菌分别划线至 LB 固体培养基上,30 ℃ 培养 24 h 进行活化,将活化后的菌株分别接种于 LB 液体培养基中,30 ℃、140 r/min 培养至浓度为  $D_{600\text{nm}}=0.5$ 。

1.3.2 育苗试验 分别取 30.0 mL 菌液加入到含有 223.0 g 盆栽育苗土的圆柱形营养钵(直径为 10 cm,高为 10 cm)中,待水稻种子胚芽长至 0.5 cm 左右时,挑选长势一致的种子分别播种到营养钵中,每钵播种 5 粒,设置对照组为加入 30.0 mL 无菌 LB 培养基的营养钵,共 10 个处理,每个处理重复 3 次。试验期间向营养钵内浇无菌水,把种好水稻的营养钵放入智能人工气候培养箱内,光照时间 12 h,设置光照等级为 3 级;黑暗时间 12 h,设置光照等级为 0,温度均为 30 ℃,湿度均为 30%。育苗 20 d 后,挑选对水稻生长促进效果较好的优势促生菌<sup>[15]</sup>。

### 1.4 优势菌株 MS 培养基促生试验

1.4.1 菌株培养及种子处理 将水稻种子置于无菌水中室温浸泡 24 h,然后在 45 ℃ 的温水中浸泡 5 min,接着在 54 ℃ 的温水中浸泡 10 min,然后把水稻种子放入 70% 乙醇中浸泡 5 min,接着在 1% 氯化汞溶液中浸泡 10 min,最后用无菌水冲洗种子 8 次。将杀菌后的种子置于高压灭菌后的 100 mL 锥形瓶中,用封口膜密封,置于 25 ℃ 暗处萌发培养 6 d。将筛选到的优势水稻根际促生菌分别划线至 LB 固体培养基上,在 30 ℃ 下培养 24 h 进行活化,将活化后的菌株分别接种于 LB 液体培养基中,在 30 ℃、140 r/min 条件下培养至浓度为  $D_{600\text{nm}}=0.5$ 。

1.4.2 育苗试验 挑选长势一致并且萌发的水稻幼苗 4 株,转移至含 MS 半固体培养基的培养皿中,每个种子间隔 2 cm,在水稻根尖 3 cm 处加入 25.0 mL 根际促生菌,用封口膜密封培养皿,并且垂直放置于培养箱内,设置白天 28 ℃、光照 12 h;晚上 25 ℃、黑暗 12 h,湿度均为 60%。培养时间为 6 d,每组处理 3 个重复<sup>[16]</sup>。

### 1.5 复合菌株田间试验

将挑选出来的优势水稻根际促生菌分别接种于 LB 液体培养基中,在 30 ℃、140 r/min 的摇床上培养过夜作为种子液,将种子液分别接种于含有 50.0 L 液体 LB 培养基的发酵培养罐中,在 30 ℃、140 r/min 条件下培养 3 d,将发酵后的菌液混合制成复合菌液备用。田间育苗试验地为黑龙江省二九零农场(131°56′24.01″E,47°35′23.85″N),试验时间为 2018 年 4 月。先将水稻种子室温浸泡 7 d 进行催芽,然后将发芽的水稻种子放置于 27 cm×58 cm 的水稻秧盘中,秧盘事先放好育苗土。将处理好的水稻秧盘置于宽 7 m、长 35 m 的塑料大棚内,处理组为按照质量比加入 10% 混合菌液的水稻秧盘,对照组为按照质量比加入 10% 水的水稻秧盘,培养 20 d 后测量相关指标<sup>[17]</sup>。

### 1.6 指标测定

水稻株高用卷尺测量;茎粗用游标卡尺测量;水稻地上鲜质量、地下鲜质量用电子天平测量;将水稻幼苗在 105 ℃ 条件下烘干 30 min,然后 80 ℃ 烘干至恒质量后,用电子天平测量地上干质量、地下干质量;采用根系分析仪(Scan Maker i800 plus)扫描获得根系图像,并采用根系分析软件(Scan Wizard EZ)分析根系长度、根直径、根体积、根表面积等<sup>[18]</sup>。

### 1.7 数据处理

采用 Excel 2007 对数据进行整理,应用 SPSS 20.0 软件对数据进行方差分析,并用 Duncan's 新复极差法比较不同处理各种指标之间的差异,采用 SigmaPlot 12.5 软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 盆栽促生试验

2.1.1 菌株对水稻生长的影响 盆栽育苗 20 d 后测量水稻的相关生理指标,由图 1 可知,对水稻高度促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP03,对应水稻地上高度分别为 40.0、41.0、37.7 cm;对水稻茎粗促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP03,对应水稻茎粗分别为 2.24、2.46、2.17 mm;对水稻地上干质量促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP06,对应水稻地上干质量分别为 0.067、0.068、0.062 g;对水稻地上鲜质量促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP06,对应水稻地上鲜质量分别为 0.47、0.43、0.45 g。加入根际促生菌的土壤相比对照,水稻的各项指标都有所提高,说明菌株对水稻生长具有促生效果。

2.1.2 菌株对水稻根系的影响 由图 2 可知,对水稻根表面积促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP03,对应水稻根表面积分别为 2.878、2.709、2.797 cm<sup>2</sup>;对水稻根体积促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP03,对应水稻根体积分别为 0.029 3、0.035 7、0.039 cm<sup>3</sup>。相比对照加入根际促生菌的土壤,水稻根系的各项指标都有所提高,说明菌株对水稻根系具有促生效果。综合菌株对水稻地上部和根系生长的促生效果,挑选了 3 株促进效果较好的菌株 [*Bacillus aryabhattai* (LZP01)、*Bacillus pumilus* (LZP02)、*Bacillus megaterium* (LZP03)] 进行下一步试验。

### 2.2 优势菌株 MS 培养基促生试验

2.2.1 菌株对水稻生长的影响 MS 半固体培养基培养水稻幼苗 6 d 后测量相关生理指标,如图 3 所示,3 株优势促生菌均对水稻茎粗、株高、地上干质量、地上鲜质量具有明显促进效果,其中对茎粗促进效果最好的为 LZP01,对应水稻茎粗达 1.04 mm;对株高促进效果最好的菌株为 LZP03,对应水稻株高达 12.37 cm;对地上鲜质量促进效果最好的菌株为 LZP03,对应水稻地上鲜质量达 0.031 g;对地上干质量促进效果最好的菌株为 LZP02,对应水稻地上干质量达 0.005 3 g。

2.2.2 菌株对水稻根系的影响 由图 4 可知,3 株根际促生菌对水稻根表面积、根体积和总根长均具有显著的促进作用。对照水稻的总根长为 2.77 cm,促进效果最好的菌株为 LZP03,对应水稻总根长为 10.69 cm;对照水稻根表面积为 0.26 cm<sup>2</sup>,促进效果最好的菌株 LZP03 处理为 0.80 cm<sup>2</sup>;对照水稻根体积为 0.002 2 cm<sup>3</sup>,促进效果最好的菌株 LZP03 处理为 0.010 0 cm<sup>3</sup>;对照水稻根平均直径为 0.44 mm,促进效果

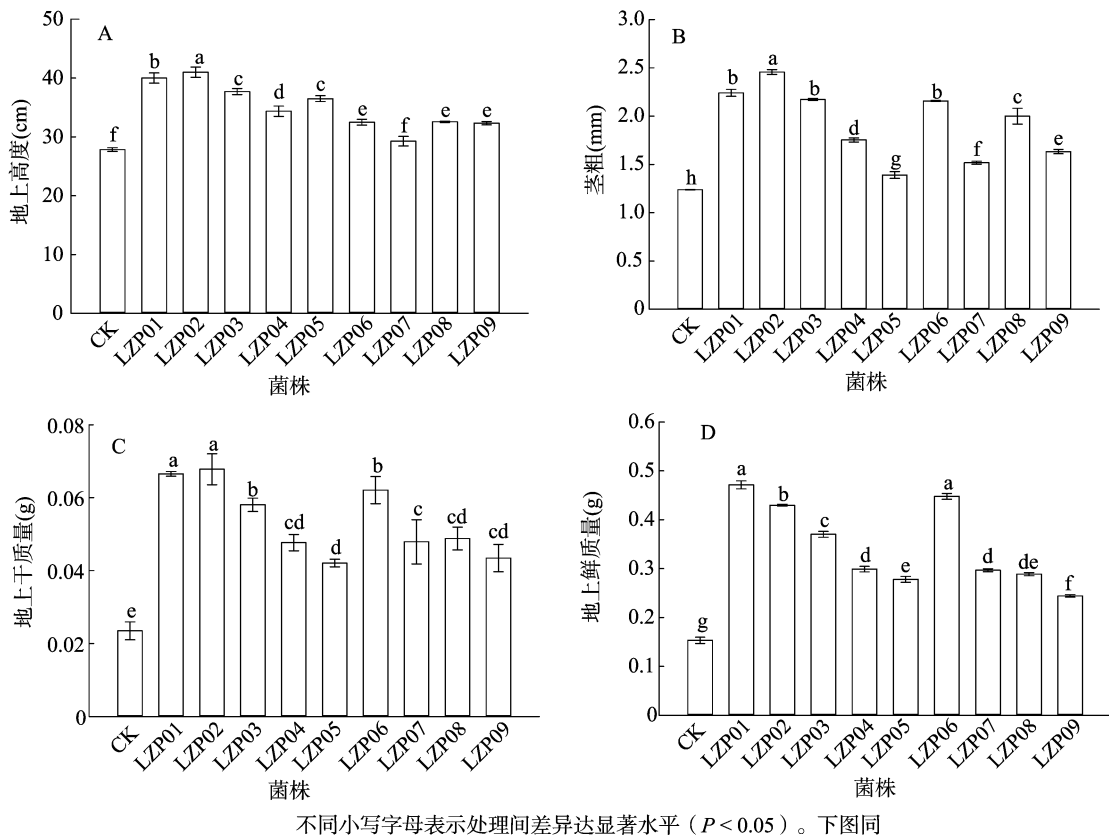


图1 水稻生长指标测定

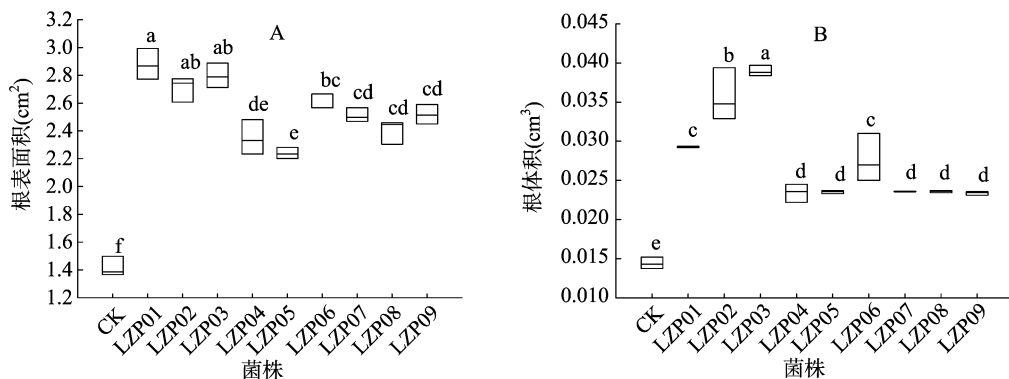


图2 水稻根系指标测定

最好的菌株 LZP01 处理为 0.5 mm。相比对照加入促生菌的土壤,水稻根系各项指标都有所提高,说明菌株对水稻生长具有促生效果。

### 2.3 复合菌株田间试验

2.3.1 复合菌株对水稻生长的影响 如图 5 所示,加入复合菌肥的水稻幼苗在大多生长指标有显著提高,对照组水稻地上干质量为 0.009 7 g,地上鲜质量为 0.062 g,地下干质量为 0.006 6 g,地下鲜质量为 0.036 g,茎粗为 1.39 mm,株高为 6.57 cm;加入微生物菌肥的水稻地上干质量为 0.136 g,地上鲜质量为 0.087 g,地下干质量为 0.008 4 g,地下鲜质量为 0.053 g,茎粗为 1.75 mm,株高为 9.48 cm。

2.3.2 复合菌株对水稻根系的影响 如图 6 所示,加入复合菌肥的水稻相比对照,根表面积、根体积、根平均直径、总根长均显著提高。对照水稻总根长为 2.1 cm,根表面积为

2.98  $\text{cm}^2$ ,根体积为 0.039  $\text{cm}^3$ ,根平均直径为 0.34 mm;加入复合微生物菌肥的水稻总根长为 4.1 cm,根表面积为 4.31  $\text{cm}^2$ ,根体积为 0.062  $\text{cm}^3$ ,根平均直径为 0.39 mm。相比对照,加入复合根际促生菌的土壤,水稻根系各项指标上都有所提高,说明复合菌株对水稻根系生长具有促生效果。

### 3 讨论与结论

微生物菌肥中含有活的微生物,这些微生物之间的相互作用可以使土壤获得特定肥料效应,进而增加农作物的产量和提高品质<sup>[19]</sup>。水稻根际促生菌具有解磷、溶磷、解钾等功能,同时可产 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)脱氨酶、吲哚乙酸、赤霉素等植物激素,这些特异性的功能可以促进植物生长,改善土壤生态环境<sup>[20]</sup>。通过盆栽促生试验可以发现,9 株根际促生菌可以不同程度地促进水稻生长,对水稻地上高

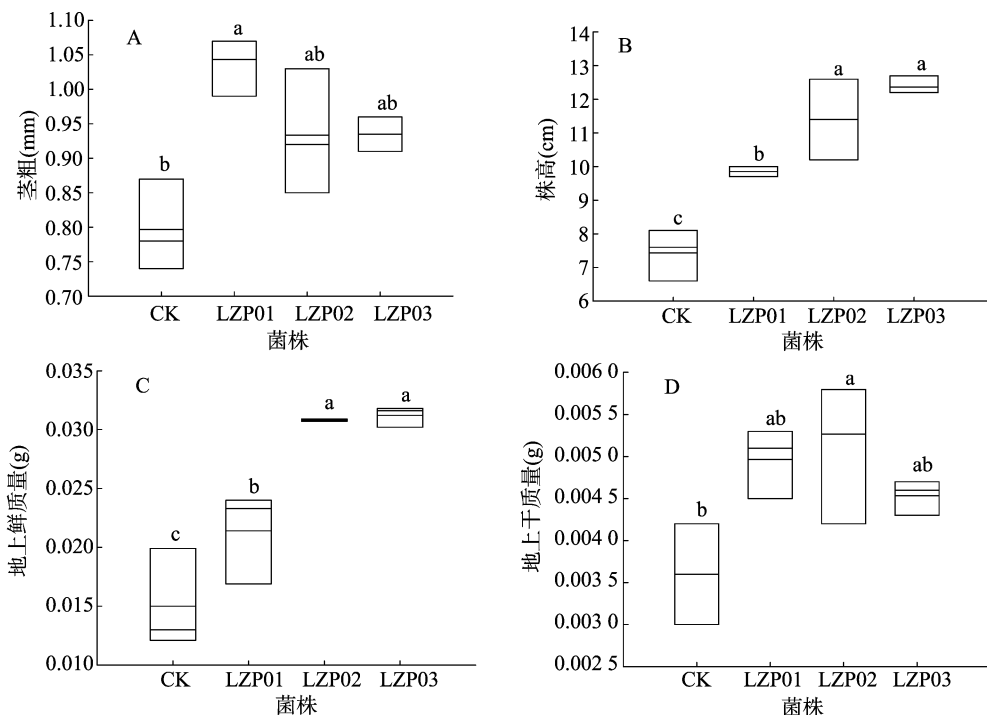


图3 水稻生长指标测定

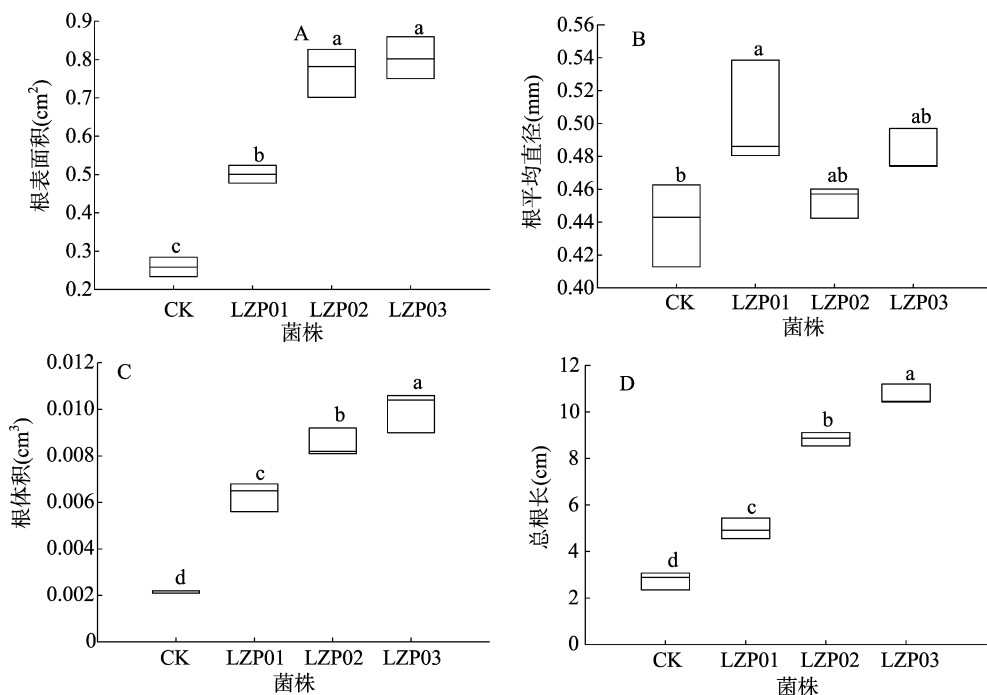


图4 水稻根系指标测定

度、茎粗、地上干质量、地上鲜质量促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP03。在根系方面,对水稻根表面积和根体积促进效果较好的 3 株菌株为 LZP01、LZP02、LZP03。相比对照,加入根际促生菌的土壤,水稻根系的各项指标都有所提高,说明菌株对水稻根系生长具有促生效果。根际促生菌能刺激水稻侧根的伸长、发育,进而影响根系形态和促进植物生长,主要表现在根长、根表面积及根体积等形态变化上<sup>[21]</sup>。MS 半固体培养基育苗的优点为水稻育苗在无菌条件下进

行,排除了土壤中其他菌株对水稻生长的影响。本研究结果发现,挑选的 3 株根际促生菌对水稻茎粗、株高、地上干质量、地上鲜质量具有促进作用。在根系方面,3 株促生菌对水稻根表面积、根体积、根平均直径、总根长具有促进作用。

微生物肥料在绿色有机食品生产、农业生态环境保护以及农业的持续发展中发挥着重要作用<sup>[22-23]</sup>。微生物肥料中的有效微生物可对植物的生命活动产生特定肥效及生理作用,目前微生物肥料已在我国得到广泛使用<sup>[24]</sup>。于黑龙江省

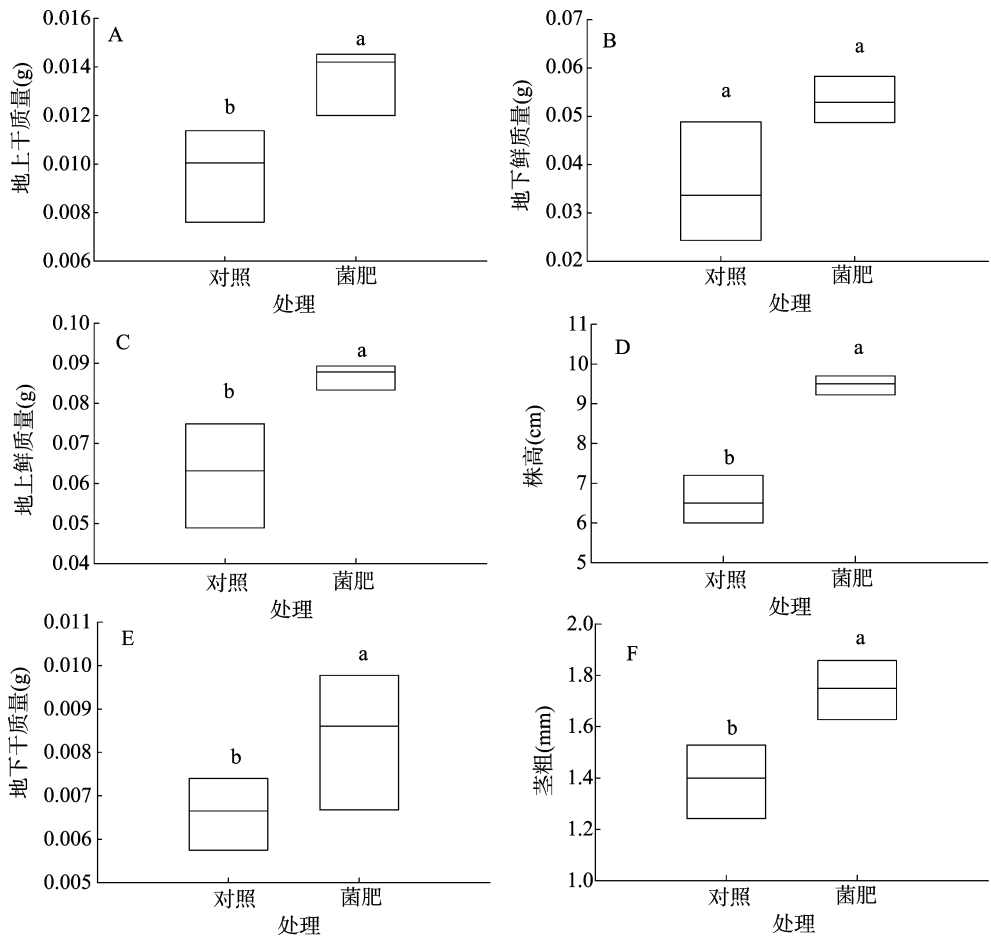


图5 水稻生长指标测定

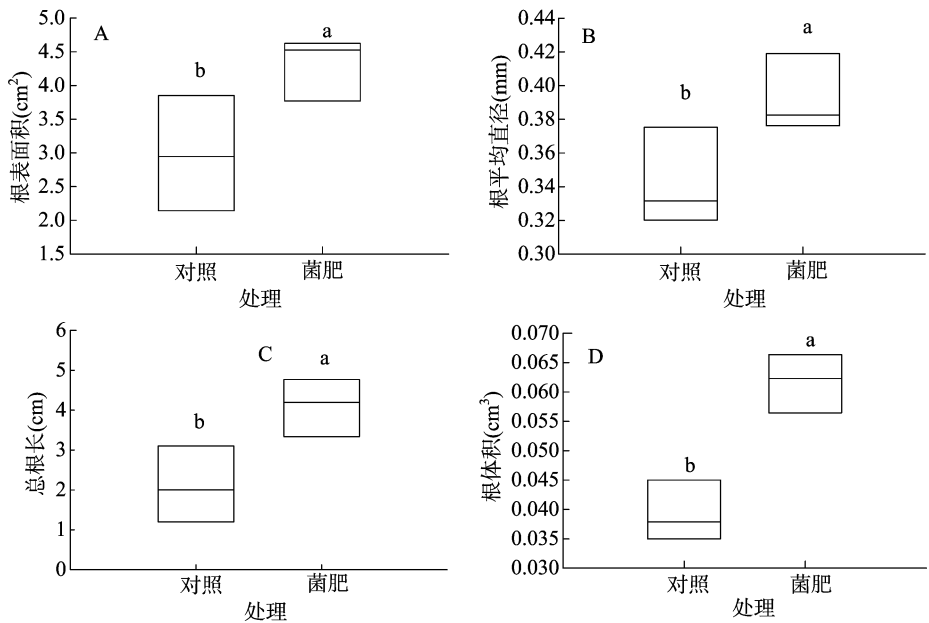


图6 水稻根系指标测定

二二零农场进行 LZP01、LZP02、LZP03 复合菌株的田间试验，加入复合菌株的土壤生长出来的水稻较对照盘根能力好，说明菌株更适合在田间环境生长<sup>[25]</sup>。加入复合菌肥的水稻幼

苗在地上干质量、地上鲜质量、地下干质量、地下鲜质量、茎粗、株高方面相比对照有所提高。加入复合菌肥的水稻相比对照，根表面积、根体积和总根长均显著提高。研究发现，枯

草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌通过增加根长、根表面积、根体积、根直径促进了烟草的生长<sup>[26]</sup>。将水稻根际促生菌用于微生物菌肥的研发,既可以有效促进水稻的生长,还可以减轻化肥农药对农作物和土壤的损伤<sup>[27]</sup>。

通过盆栽促生试验可以发现,9 株根际促生菌都可以促进水稻植株的生长,其中促进效果较好的是 *Bacillus aryabhattai* (LZP01)、*Bacillus pumilus* (LZP02)、*Bacillus megaterium* (LZP03) 这 3 株菌株。MS 半固体培养基促生试验结果发现,3 株优势根际促生菌对水稻生长指标和根系指标具有促进作用。加入复合菌株的土壤生长出来的水稻较对照盘根能力好,说明菌株更适合在田间环境生长。本研究结果将对水稻微生物肥料开发利用产生推动作用,在农业生产实践中产生经济效益、社会效益和生态效益。

#### 参考文献:

- [1] 孟瑶,徐凤花,孟庆有,等. 中国微生物肥料研究及应用进展[J]. 中国农学通报,2008,24(6):276-283.
- [2] Bilen S. Effect of cement dust pollution on microbial properties and enzyme activities in cultivated and no-till soils[J]. African Journal of Microbiology Research,2010,4(22):2418-2425.
- [3] Wiermians P C A,Bakker P A H M,Pieterse C M J. Natural genetic variation in *Arabidopsis* for responsiveness to plant growth-promoting rhizobacteria[J]. Plant Molecular Biology,2016,90(6):623-634.
- [4] 李琬,刘森,张必弦,等. 植物根际促生菌的研究进展及其应用现状[J]. 中国农学通报,2014,30(24):1-5.
- [5] Berendsen R L,Pieterse C M J,Bakker P A H M. The rhizosphere microbiome and plant health[J]. Trends in Plant Science,2012,17(8):478-486.
- [6] Ahmad F,Ahmad I,Khan M S. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities[J]. Microbiological Research,2008,163(2):173-181.
- [7] Ji S H,Gururani M A,Chun S C. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars[J]. Microbiological Research,2014,169(1):83-98.
- [8] 詹寿发,卢丹妮,毛花英,等. 2 株溶磷、解钾与产 IAA 的内生真菌菌株的筛选、鉴定及促生作用研究[J]. 中国土壤与肥料,2017(3):142-151.
- [9] Wang Y,Zhao X,Guo Z Y,et al. Response of soil microbes to a reduction in phosphorus fertilizer in rice-wheat rotation paddy soils with varying soil P levels[J]. Soil & Tillage Research,2018,181:127-135.
- [10] Habibi S,Djedidi S,Prongjunthuek K,et al. Erratum to: physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crops[J]. Plant and Soil,2014,379(1/2):411.
- [11] Nico M,Ribaud C M,Gori J I,et al. Uptake of phosphate and promotion of vegetative growth in glucose-exuding rice plants (*Oryza sativa*) inoculated with plant growth-promoting bacteria[J]. Applied Soil Ecology,2012,61:190-195.
- [12] Baum C,El-Tohamy W,Gruda N. Increasing the productivity and

product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi:a review[J]. Scientia Horticulturae,2015,187:131-141.

- [13] 刘珍环,李正国,唐鹏钦,等. 近 30 年中国水稻种植区域与产量时空变化分析[J]. 地理学报,2013,68(5):680-693.
- [14] 刘泽平,王志刚,徐伟慧,等. 水稻根际促生菌的筛选鉴定及促生能力分析[J]. 农业资源与环境学报,2017,35(2):119-125.
- [15] Mena-Violante H G,Olalde-Portugal V. alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria(PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs[J]. Scientia Horticulturae,2007,113(1):103-106.
- [16] Asari S,Tarkowski D,Rolšik J,et al. Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant[J]. Planta,2016,245(1):15-30.
- [17] Xu W H,Wang Z G,Wu F Z. Companion cropping with wheat increases resistance to *Fusarium* wilt in watermelon and the roles of root exudates in watermelon root growth[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology,2015,90:12-20.
- [18] 徐伟慧,刘泽平,符春敏,等. 根际芽孢杆菌对水稻根系的促生效应[J]. 河南农业科学,2018,47(4):59-63.
- [19] Liu X,Hu G Q,He H B,et al. Linking microbial immobilization of fertilizer nitrogen to in situ turnover of soil microbial residues in an agro-ecosystem[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2016,229:40-47.
- [20] 王志刚,胡云龙,徐伟慧,等. 鞘氨醇单胞菌菌株 CL01 的分离鉴定及其对连作西瓜的促生效应[J]. 农业生物技术学报,2015,23(10):1360-1367.
- [21] Ortíz-Castro R,Contreras-Cornejo H A,Macías-Rodríguez L,et al. The role of microbial signals in plant growth and development[J]. Plant Signaling & Behavior,2009,4(8):701-712.
- [22] 金京京,齐永志,甄文超. 适应秸秆还田的多功能复合菌肥对小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):75-78.
- [23] 王巧玲,范广璞,杨猛,等. 复合微生物肥料功能菌的筛选及其对黄瓜幼苗的促生作用[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):146-149.
- [24] Velusamy P,Immanuel J E,Gnanamanickam S S,et al. Rhizosphere bacteria for biocontrol of bacterial blight and growth promotion of rice[J]. Rice Science,2013,20(5):356-362.
- [25] Tamreihao K,Ningthoujam D S,Nimaichand S,et al. Biocontrol and plant growth promoting activities of a *Streptomyces corchorusii* strain UCR3-16 and preparation of powder formulation for application as biofertilizer agents for rice plant[J]. Microbiological Research,2016,192:260-270.
- [26] 李想,刘艳霞,夏范讲,等. 烟草根际促生菌(PGPR)的筛选、鉴定及促生机理研究[J]. 中国烟草学报,2017,23(3):111-118.
- [27] 龙晶. 生态环境保护与农业可持续发展研究[J]. 环境科学与管理,2015,40(7):168-171.